

## Ontología para la Recuperación Semántica de Imágenes DICOM en Bases de Datos Objeto-Relacional

Matías Agüero<sup>1</sup>, Carlos Alvez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad Regional Santa Fe – Universidad Tecnológica Nacional,  
Lavaise 610, Santa Fe, Santa Fe, S3002GJC, Argentina  
mjaquero@gmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Administración - Universidad Nacional de Entre Ríos,  
Av. Tavella 1424, Concordia, Entre Ríos - CP 3200  
caralv@fcad.uner.edu.ar

**Resumen.** Las imágenes digitales en medicina están reemplazando cada día más a los antiguos formatos físicos que ocupaban inmensos espacios destinados a almacenar placas, hojas de papel, y otros medios. Para los profesionales en medicina, al momento de efectuar el diagnóstico de un paciente, es muy importante contar con imágenes similares a la obtenida en un estudio efectuado a dicho paciente. Sin embargo, para la obtención de estas imágenes, es necesario contar la información del contexto en el que se ha tomado la misma. En este sentido, el estándar DICOM describe detalladamente los medios para dar formato e intercambiar imágenes e información entre diferentes dispositivos o equipos médicos de diagnóstico por imágenes. En este trabajo se presenta una arquitectura para la recuperación de imágenes DICOM, basada en una ontología propuesta, implementada en una base de datos objeto relacional. Esta arquitectura permite extender las consultas SQL permitiendo la recuperación imágenes por similitud semántica, de manera simple y escalable.

### 1 Introducción

Las imágenes digitales en medicina están reemplazando cada día más a los antiguos formatos físicos que ocupaban inmensos espacios destinados a almacenar placas, hojas de papel, y otros medios. Una vez almacenadas en depósitos no se volvían a consultar, ocasionando gastos y ocupando lugar en las instituciones médicas. Las imágenes digitales proporcionan diferentes ventajas sobre los antiguos formatos físicos desde el momento de la adquisición hasta el de su visualización, entre ellas:

- Utilización de estándares en el formato de las imágenes.
- Reducción de espacios para el almacenamiento.
- Mejores tiempos de respuesta para la disponibilidad de las mismas debido a una mejor organización.
- Posibilidad de llevar una mejor historia clínica de los pacientes.

- Las mismas pueden ser visualizadas, por diferentes especialistas, al mismo tiempo, en un lugar diferente al de donde se realizó el estudio, gracias a la posibilidad de comunicación que proporcionan.
- El paciente no necesariamente tiene que cargar con los estudios que se realizó.

Una imagen médica no tiene sentido sola, sino que es importante la información del contexto en el que se ha tomado la misma. En este sentido, el estándar DICOM<sup>1</sup>[1], es el estándar que describe detalladamente los medios para dar formato e intercambiar imágenes e información entre diferentes dispositivos o equipos médicos de diagnóstico por imágenes. Además, en el contexto de una imagen DICOM encontramos datos del paciente, del estudio que se le está realizando, del equipo que ha efectuado el estudio, de las imágenes tomadas (número de tomas realizadas, separación entre cada imagen, dimensión de las imágenes, etc.). Todo esto es posible a través del estándar DICOM, el cual propone organizar las imágenes de un paciente.

Actualmente existen sistemas que realizan la gestión de imágenes, conocidos como PACS<sup>2</sup>, en donde la comunicación en ambiente de red es la parte medular para el diseño de aplicaciones y se apoya en el protocolo DICOM para la gestión de la imagen diagnóstica. En los últimos años se ha producido una generalización a nivel mundial del uso de este protocolo.

Una herramienta útil para los profesionales en medicina al momento de efectuar el diagnóstico de un paciente es lograr la recuperación de imágenes similares a la imagen obtenida en un estudio efectuado a dicho paciente. Para lograr esto, además de contar con las imágenes en formato DICOM, también es necesario establecer relaciones entre las mismas de manera que, a partir de ciertas reglas o datos, poder recuperar otras imágenes y diagnósticos similares que se encuentren almacenados en la base de datos.

El objetivo principal de este trabajo es presentar una arquitectura compuesta por una base de datos y una ontología que sea capaz de obtener imágenes a través de búsquedas semánticas. La ontología propuesta, extiende a una ontología DICOM existente e integra también otras ontologías[2] en medicina, la cual es implementada en una BDOR<sup>3</sup>[3]. Esta arquitectura está siendo desarrollada como parte de la Tesis de Maestría de uno de los autores. Actualmente, dentro de las actividades relacionadas con la mencionada tesis, se están llevando adelante una serie de experimentos para validar los resultados alcanzados. Sin embargo, por cuestiones de espacio, los resultados de los mismos, así como su comparación con propuestas existentes, no se presentan en este artículo.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera: En la sección 2, se presentan los conceptos más importantes del estándar DICOM, una ontología basada en este estándar y otras ontologías relacionadas con el dominio de la salud; en la sección 3 se

---

<sup>1</sup> DICOM: Tratamiento Digital de Imágenes y Comunicaciones en Medicina (Digital Imaging and Communications in Medicine). <http://dicom.nema.org/>.

<sup>2</sup> PACS: Sistemas de Almacenamiento y Comunicación de Imágenes (Pictures Archiving and Communication System).

<sup>3</sup> BDOR: Base de Datos Objeto Relacional.

describe la ontología propuesta; en la sección 4 se presenta una aplicación en una BDOR y en la sección 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

## 2 Estándar DICOM y Ontologías Médicas

En esta sección se introduce brevemente los conceptos más importantes del estándar DICOM, así como también, las ontologías reutilizadas para generar la ontología propuesta.

### 2.1 Estándar DICOM

DICOM son las siglas en inglés de “Tratamiento Digital de Imágenes y Comunicaciones en Medicina”[1]. El estándar DICOM es el mecanismo de codificación, almacenamiento y transmisión de imágenes aceptado universalmente por la comunidad médica. Este formato permite almacenar no solo la imagen, sino también la información relacionada con la misma dentro de un mismo archivo. En la Figura 1 podemos observar de forma resumida la organización y estructura que ofrece DICOM, que está compuesta por los pixeles que conforman la imagen y el metadato (información relacionada con la imagen) que representa el modelo de datos también propuesto por el estándar. En este trabajo, la información almacenada en el metadato de las imágenes DICOM es extraída y almacenada en forma de tripletas, lo cual nos permitirá relacionar semánticamente las imágenes.

DICOM no es sólo un formato de fichero para imágenes médicas. De hecho, tiene como finalidad ser un estándar completo que cubra todas las necesidades de un PACS: almacenamiento, transmisión, comunicaciones en general e impresión. De esta forma, se integran todos los equipos que forman un PACS, desde los equipos médicos encargados de la obtención de imágenes hasta las aplicaciones usadas por el personal clínico para visualizarlas.

### 2.2 Ontologías en el ámbito de la salud

Hoy en día existen diferentes ontologías en el ámbito de la salud. Durante el proceso de investigación y diseño de una ontología para este trabajo se optó por utilizar algunas de las ontologías ya existentes y desarrolladas por otros investigadores y organizaciones, para de esta manera, poder tomar ventajas de las mismas y acoplarlas a lo desarrollado en esta investigación. Grandes y sofisticadas ontologías se han desarrollado para la genética y la anatomía humana, actualmente hay cerca de 500 ontologías diferentes para una variedad de disciplinas biomédicas<sup>4</sup>. Entre ellas encontramos a Semantic DICOM Ontology<sup>5</sup>, que implementa en lenguaje OWL (Web Ontology

<sup>4</sup> BioPortal: Repositorio de ontologías biomédicas. <http://bioportal.bioontology.org/>

<sup>5</sup> Repositorio: <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/SEDI/>

Language) los conceptos del estándar DICOM. Esta ontología es reutilizada y extendida para crear la ontología propuesta en este trabajo.

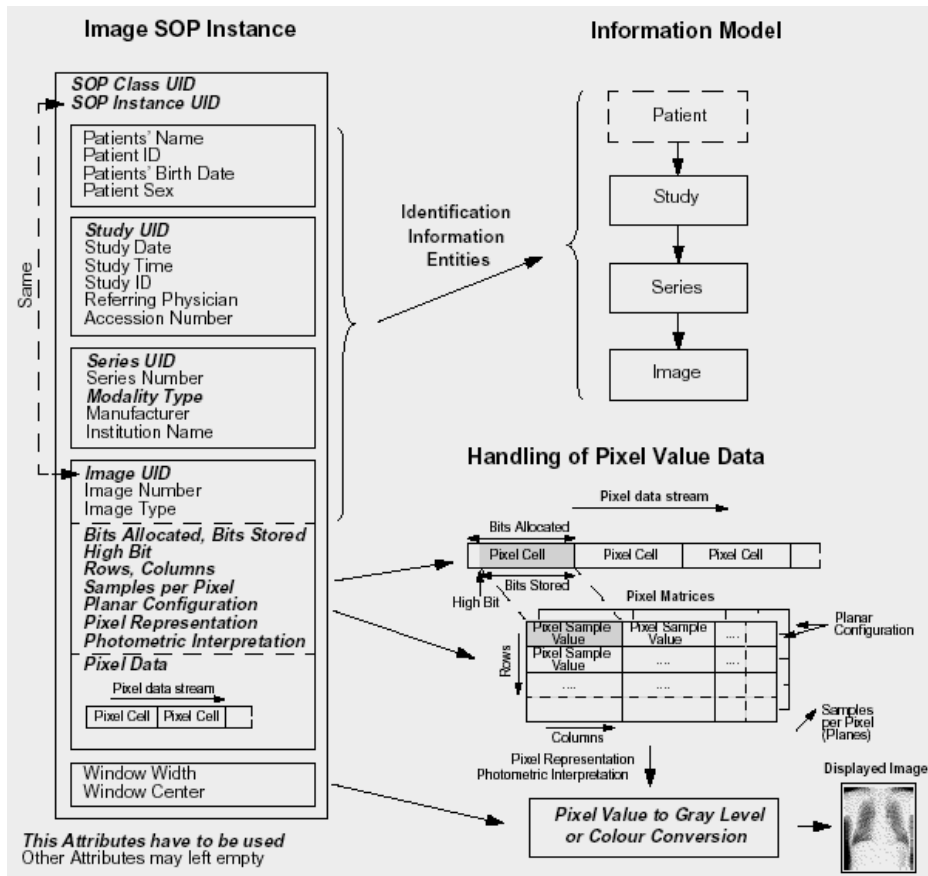


Fig. 1: Estructura de una imagen DICOM[1].

Además de la ontología DICOM, la cual se extiende, también se importan otras dos ontologías ya existentes con el fin de reutilizar las mismas y aumentar el alcance de este desarrollo. Estas son las ontologías de Síntomas y Enfermedades Humanas.

- Ontología Semántica DICOM (SEDI):
  - o Semantic DICOM Ontology
  - o <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/SEDI/>
- Ontología de Síntomas (SYMP): “Un cambio percibido en la función, sensación o apariencia reportado por un paciente que indicaría una enfermedad”.
  - o Symptom Ontology
  - o <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/SYMP>

- Ontología de Enfermedades Humanas (DOID): “Vocabulario jerarquizado para la representación de las enfermedades humanas”.
  - o Human Disease Ontology
  - o <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/DOID>

Las ontologías SYMP y DOID permitirán enriquecer semánticamente los metadatos DICOM para poder inferir nuevos conocimientos sobre estas imágenes y lograr hacer más eficiente la búsqueda de imágenes por similitud de contenido semántico. En las siguientes secciones se describen cómo estas ontologías se integran en la ontología propuesta y cómo ésta es utilizada para la búsqueda de imágenes en una BDOR[4]. En la tabla 1 se pueden encontrar más detalles de las ontologías importadas.

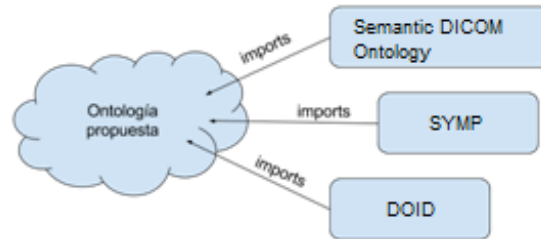
**Tabla 1.** Detalle de las Ontologías importadas.

<b>Acrónimo</b>	<b>Formato</b>	<b>Descripción</b>
SEDI	OWL	Ontología DICOM utilizada en el proyecto SeDI.
DOID	OBO	Vocabulario creado para la representación de las enfermedades humanas.
SYMP	OWL	La ontología de los síntomas fue diseñada alrededor del concepto guía de que es un síntoma: "Un cambio percibido en la función, sensación o apariencia reportado por un paciente indicativo de una enfermedad".

### 3. Ontología Propuesta

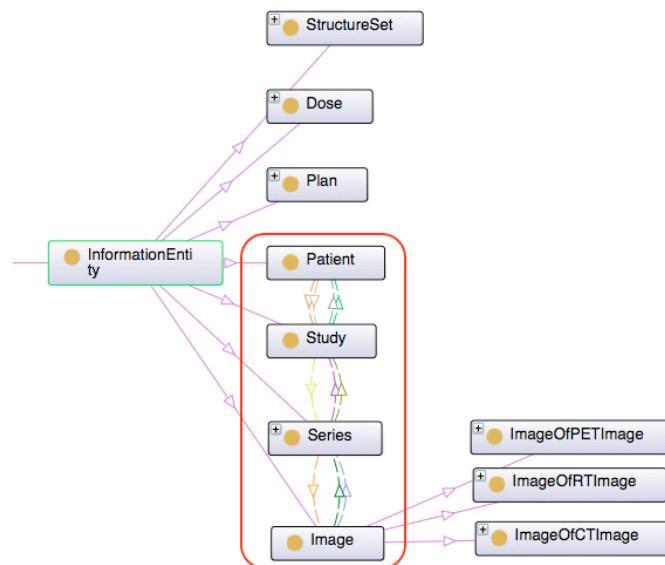
La ontología propuesta toma como base la ontología *Semantic DICOM Ontology*<sup>6</sup> antes nombrada para utilizar principalmente sus clases y algunas relaciones. También importa y utiliza las otras dos ontologías presentadas en la sección 2: DOID y SYMP. Como muestra la Figura 2, estas ontologías[5] mencionadas son importadas en la ontología propuesta, la cual define nuevas relaciones y reglas que permiten vincular conceptos de las diferentes ontologías e inferir nuevos conocimientos a partir de ellas.

<sup>6</sup> Semantic DICOM Ontology: <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/SEDI/>.



**Fig. 2:** Ontologías existentes importadas.

El diseño de la ontología creada se basó principalmente en la línea definida por el estándar DICOM, el cual define como principales entidades a Estudio, Serie e Imagen. Por lo tanto, en la ontología propuesta se utilizan solo algunas clases de la ontología Semantic DICOM Ontology, en particular, las clases Paciente, Estudio, Serie e Imagen, que se muestran remarcadas en la Figura 3, lo cual permite acotar este trabajo sin dejar de ajustarse a las principales entidades definidas en el estándar DICOM.



**Fig. 3.** Ontología DICOM existente que se extiende para crear la ontología propuesta.

En los párrafos que siguen se introducirán los conceptos más relevantes de la ontología propuesta, los cuales se ilustran en la Figura 4. En dicha figura se puede observar que las clases son representadas como óvalos, las líneas continuas representan a las relaciones de la tripleta y las líneas punteadas son las inferencias creadas a partir de las relaciones existentes. Las clases Diagnóstico y Síntoma son las pertenecientes a las ontologías DOID y SYMP respectivamente, las demás perteneces a la ontología DICOM. Otro punto importante a destacar es que las líneas en color rojo son las relaciones e inferencias que se crearon en este trabajo, y las negras son las que se reutili-



**Tabla 3.** Nuevas propiedades de la ontología propuesta.

Propiedad	Descripción
<esDiagnostico #type #Property>	Indica que el estudio tiene un diagnóstico.
<esSintoma #type #Property>	Indica que el estudio tiene un síntoma.
<esModalidad #type #Property>	Indica que la serie es de un tipo de modalidad.
<esGenero #type #Property>	Indica que el estudio pertenece a un paciente de ese género.
<esPeso #type #Property>	Indica que el estudio pertenece a un paciente con ese peso.
<esEdad #type #Property>	Indica que el estudio pertenece a un paciente de esa edad.

Por último, quedan por describir las reglas o inferencias para que el modelo propuesto quede completo. Estas reglas son las que permitirán buscar imágenes de manera semántica muy fácilmente.

(?i perteneceEstudio ?e)

- Indica que la imagen pertenece a ese estudio.
- (?i esImagenDe ?s)(?s esSerieDe ?e)  
=>( ?i perteneceEstudio ?e)
- Para toda i/Imagen, si existe una s/Serie, y si esSerieDe(i,s) y si esEstudioDe(s,e), entonces i/Imagen es del Estudio e → perteneceEstudio(i,e).

(?i pertenecePaciente ?p)

- (indica que la imagen es de un paciente determinado)
- (?i perteneceEstudio ?e)(?e esEstudioDe ?p)  
=> (?i pertenecePaciente ?e)
- Para toda i/Imagen, si existe un e/Estudio, y si perteneceEstudio(i,e) y si esEstudioDe(e,p), entonces i/Imagen es del Paciente p → pertenecePaciente(i,p).

(?i tieneDiagnostico ?d)

- Indica que la imagen tiene un diagnóstico asociado.
- (?i perteneceEstudio ?e)(?e esDiagnostico ?d)  
=>( ?i tieneDiagnostico? d)
- Para toda i/Imagen, si existe un e/Estudio, y si perteneceEstudio(i,e) y si esDiagnostico(e,d), entonces i/Imagen tiene el Diagnostico d asociado → tieneDiagnostico(i,d)

(?i tieneSintoma ?sy)

- Indica que la imagen tiene un síntoma asociado.
- (?i perteneceEstudio ?e)(?e esSintoma ?sy)  
=>( ?i tieneSintoma? sy)
- Para toda i/Imagen, si existe un e/Estudio, y si perteneceEstudio(i,e) y si esSintoma(e,sy), entonces i/Imagen tiene el Sintoma sy asociado → tieneSintoma(i,sy)



(?i tieneGenero ?g)

- Indica que la imagen pertenece a un paciente de ese género.
- (?i perteneceEstudio ?e)(?e esGenero ?gg)  
=>( ?i tieneGenero? gg)
- Para toda i/Imagen, si existe un e/Estudio, y si perteneceEstudio(i,e) y si esGenero(e,gg), entonces i/Imagen pertenece a un paciente de genero gg → tieneGenero(i,gg)

(?i tienePeso ?pp)

- Indica que la imagen pertenece a un paciente de ese peso.
- (?i perteneceEstudio ?e)(?e esPeso ?pp)  
=>( ?i tienePeso? pp)
- Para toda i/Imagen, si existe un e/Estudio, y si perteneceEstudio(i,e) y si esPeso(e,pp), entonces i/Imagen pertenece a un paciente de peso pp → tienePeso(i,pp)

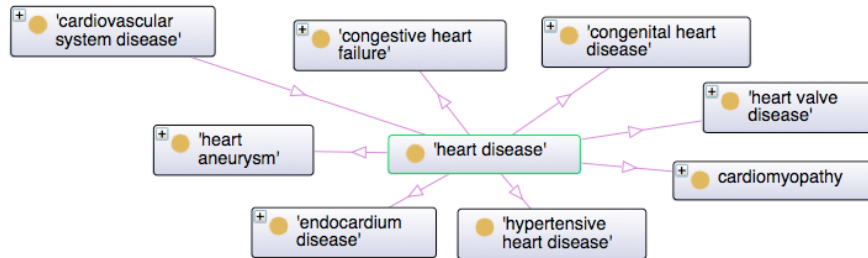
(?i tieneEdad ?ee)

- Indica que la imagen pertenece a un paciente de esa edad.
- (?i perteneceEstudio ?e)(?e esEdad ?ee)  
=>( ?i tieneEdad? ee)
- Para toda i/Imagen, si existe un e/Estudio, y si perteneceEstudio(i,e) y si esEdad(e,ee), entonces i/Imagen pertenece a un paciente de edad ee → tieneEdad(i,ee)

(?i tieneModalidad ?m)

- Indica que la imagen es de un tipo de modalidad.
- (?i esImagenDe ?s)(?s esModalidad ?m)  
=>( ?i tieneModalidad? m)
- Para toda i/Imagen, si existe una s/Serie, y si esImagenDe(i,s) y si esModalidad(s,m), entonces i/Imagen es del tipo Modalidad m → tieneModalidad(i,m)

Hasta aquí se han descrito las clases, relaciones y reglas básicas que componen la ontología propuesta. Las reglas definidas anteriormente sirven como base para definir reglas más complejas y que realmente tomen ventaja del uso de las ontologías. Por ejemplo, en base a las reglas introducidas en los párrafos anteriores, se puede definir una regla para obtener las imágenes que pertenezcan a pacientes que posean algún riesgo de tener un problema cardíaco. Para la construcción de esta regla se deben tener en consideración algunos de los diagnósticos que la ontología DOID nos brinda y que pueden tener relaciones con problemas cardíacos, los cuales se ilustran en la Figura 5.



**Fig. 5.** Enfermedades cardíacas en la ontología DOID.

A partir de estos diagnósticos es posible especificar una regla que permita detectar riesgos cardiacos basándonos en estos diagnósticos y en algunos otros valores. Los criterios que determinaran la regla son:

- El paciente tuvo alguno de estos diagnósticos en el pasado.
- El paciente tiene más de 40 años.
- El paciente es de sexo masculino.

La regla “RiesgoCardiaco” quedaría de la siguiente manera:

```

(?i pertenecePaciente ?p) & (?i tieneEdad ?edad) &
(?i tieneGenero ?gen) & (?edad > 40) & (?gen = 'M') &
(?i tieneDiagnostico ?d) &
(?d esSubClaseDe doid:'heart disease')
=> (?i riesgoCardiaco ?p)
    
```

Se puede percibir ahora, la cantidad de reglas complejas que se podrían definir de manera relativamente sencilla para obtener imágenes y así compararlas con lo que se necesite. Además, se tiene la ontología de Síntomas (SYMP) con la cual se pueden obtener una larga lista de reglas para detectar enfermedades en forma temprana. Siguiendo con el ejemplo cardíaco, la ontología SYMP brinda estos síntomas asociados al sistema cardiovascular, que podrán ser utilizados para definir nuevas reglas (Figura 6).

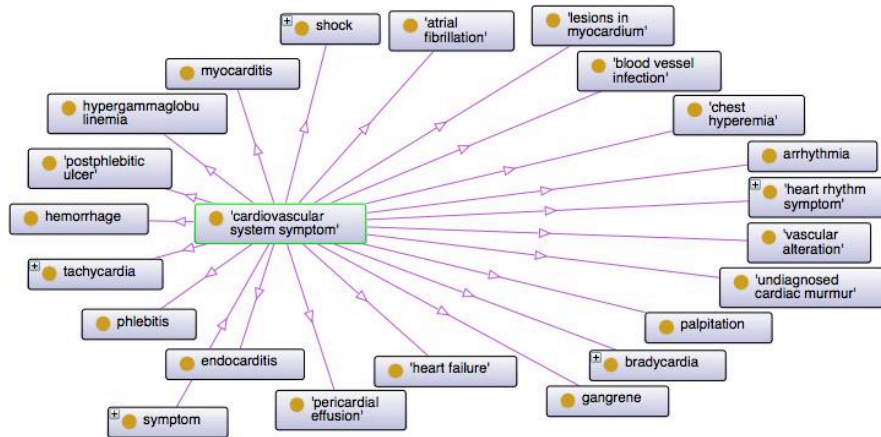


Fig. 6. Síntomas asociados al sistema cardiovascular en la ontología SYMP.

#### 4 Aplicación de la ontología propuesta para la búsqueda de imágenes médicas en una BDOR

Con el fin de poder aplicar la ontología propuesta anteriormente, se creó una base de datos Objeto-Relacional utilizando el Sistema de Gestión de Bases de Datos Oracle 11g. Esta elección se debe a que Oracle 11g posee excelentes herramientas para la creación y administración de ontologías, así como también, cuenta con un tipo de objeto llamado ORDDicom[6] que permite almacenar las imágenes DICOM importadas de manera correcta. Con el propósito de fijar los límites a esta investigación, se acotó el diseño a mantener solo las entidades Estudio, Serie e Imagen, las cuales coinciden con el modelo presentado por el estándar DICOM (Figura 7).

Estudio	Serie	Imagen
idEstudio	idSerie	idImagen
idPaciente	descripcion	dicom
descripcion	fkEstudio	fkSerie

Fig. 7: Objetos creados en la BDOR.

A su vez, el objeto Imagen tiene implementado un constructor el cual nos permite extraer todos los datos necesarios de los metadatos de una imagen DICOM para así poder completar las tripletas necesarias y que cada imagen forme parte del dominio creado. El siguiente es un ejemplo de las tripletas formadas dentro del constructor y que son guardadas en la ontología creada.

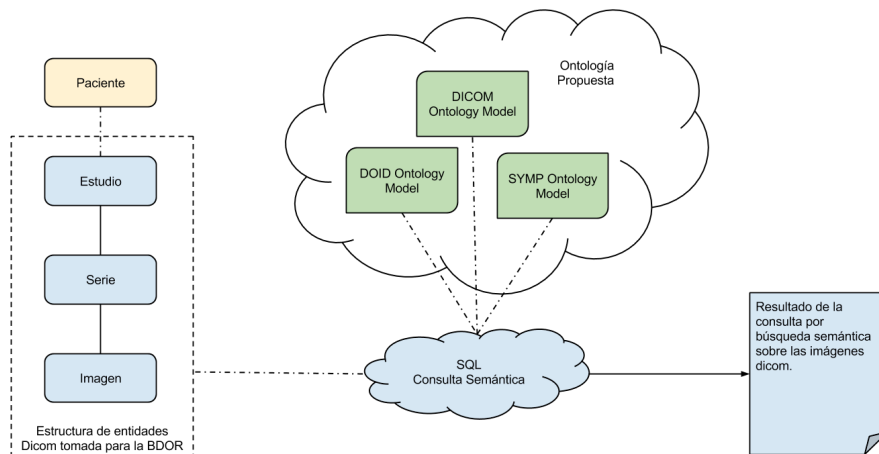
ID de la imagen: I00002

```
<I00002 :type Imagen>
<I00002 :esImagenDe S0011>
<S0011 :type Serie>
<S0011 :esSerieDe E004>
<S0011 :esModalidad CT>
<E004 :type Estudio>
<E004 :esEstudioDe P002>
...
```

Con respecto a la creación de las ontologías, se crearon 4 modelos semánticos y se importaron en tres de ellos las ontologías: Semantic DICOM, Diagnóstico y Síntomas, quedando el cuarto modelo semántico para almacenar todas las tripletas correspondientes a la carga de imágenes DICOM en la base de datos (sentencias 1 a 4). Por encima de estos modelos semánticos se creó un modelo virtual, que es un modelo que provee Oracle[7] para poder agrupar los demás modelos semánticos y así, simplificar las consultas semánticas (sentencia 5).

```
create_rdf_model('dicom_sem', 'dicom_sem_tab', 'triple');      (1)
create_rdf_model('doid_sem', 'doid_sem_tab', 'triple');      (2)
create_rdf_model('symp_sem', 'symp_sem_tab', 'triple');      (3)
create_rdf_model('local_sem', 'local_sem_tab', 'triple');    (4)
create_virtual_model('jaiio_vm',                               (5)
  sem_models('dicom_sem', 'doid_sem', 'symp_sem', 'lo-
  cal_sem'), sem_rulebases('RDF','jaiio_rulebase'));
```

En la Figura 8 se presenta un esquema de las ontologías importadas, la ontología creada y los objetos de la base de datos, todos juntos interactuando en una consulta semántica.



**Fig. 8.** Interacción entre la BDOR y la ontología propuesta.

Las reglas también son fácilmente creadas y almacenadas en la base de datos. Se necesita crear primero un grupo de reglas llamado “rulebase” para luego insertar todas las reglas que se necesiten, tanto las reglas básicas definidas y detalladas en el punto anterior como cualquier otra regla que se quiera incorporar a la ontología. Por ejemplo:

```
SEM_APIS.create_rulebase('jaiio_rulebase');

INSERT INTO mdsys.semr_jaiio_rulebase VALUES (
    'perteneceEstudio_rule',
    '(?i <URI/esImagenDe> ?s)(?s <URI/esSerieDe> ?e)',
    NULL,
    '(?i <URI/perteneceEstudio> ?e)',
    null);
```

Una enorme ventaja en el uso de ontologías es que se puede agregar cuantas reglas se necesiten sin necesidad de cambiar ni un solo campo, tabla y objeto de la base de datos. Esto permite, por ejemplo, realizar una aplicación donde se puede listar todas las reglas definidas, en este caso en el grupo “jaiio\_rulebase” y mostrarlas en pantalla para que el usuario pueda seleccionar por cual regla desea buscar imágenes. La aplicación solo necesitará realizar una consulta sobre la tabla que almacena las reglas definidas.

```
select * from mdsys.semr_jaiio_rulebase;
```

Luego de que el usuario selecciona la regla por cual realizar la búsqueda semántica, la aplicación necesita realizar nuevamente otra consulta para poder obtener, en este caso, todas las imágenes del dominio que apliquen a la regla seleccionada.

```
SELECT i imagen, p paciente
FROM TABLE(SEM_MATCH(
    '(?i :riesgoCardiaco ?p)',
    SEM_Models('jaiio_vm'),
    null,
    SEM_ALIASES(SEM_ALIAS('','URI/')),
    null));
```

## 5 Conclusiones y Trabajos Futuros

La propuesta u objetivo de este trabajo fue la creación de una arquitectura compuesta por una base de datos y una ontología que sea capaz de obtener imágenes similares, no por similitud física sino por similitud semántica. Esta propuesta consistió primero en la investigación de ontologías existentes que se puedan reutilizar, por lo cual se decidió incorporar tres: Semantic DICOM, Diagnósticos y Síntomas. Luego la creación de una ontología que importe estas tres existentes y defina nuevas relaciones e inferencias capaces de que las tres ontologías puedan interactuar y de que permita obtener imágenes similares a los patrones de búsquedas que se necesiten.

Un gran beneficio de crear una ontología es la capacidad de reutilización de las relaciones y reglas definidas, que permiten crear cada vez, inferencias más complejas

que serían muy difíciles de replicar con consultas SQL comunes[8]. En la ontología propuesta se pueden agregar cuantas reglas y relaciones se deseen, sin necesidad de tener que cambiar una tabla, objeto o estructura de la base de datos o la aplicación. Esto permite tener una muy buena escalabilidad y así poder crear reglas cada vez más complejas y magnificar el alcance de estas tecnologías.

Como trabajo futuro se tiene previsto sumar una entidad “tratamiento” al diseño e implementación actual. El plan es también almacenar los tratamientos realizados a los pacientes de manera de poder obtener, además de imágenes similares, los tratamientos médicos que se les han realizado y sus resultados y así poder contar con antecedentes y facilitar un nuevo camino para el paciente cuya imagen está bajo análisis.

Por otro lado, se tiene previsto crear una serie de reglas relacionadas con enfermedades más fuertes o delicadas como el cáncer, y de esta forma poder obtener imágenes de cuyos pacientes pueden llegar a estar desarrollándola o tener altas probabilidades y actuar con anticipación. Como se mencionó anteriormente, uno de los puntos fuertes del desarrollo de buenas reglas es permitir la detección temprana de patologías.

## Referencias

1. Página oficial de NEMA. <http://dicom.nema.org/>
2. Mabotuwana, T., Lee, M.C., Cohen-Solal, E.V. (2013). An ontology-based similarity measure for biomedical data - Application to radiology reports. *Journal of Biomedical Informatics*, 46, 857-868.
3. Carlos Alvez, “Modelos para la recuperación de imágenes por similitud en Bases de Datos Objeto-Relacionales”. Tesis Doctoral. Santa Fe, Argentina, 2012. ISBN 978-987-33-2249-5.
4. Carlos Alvez y Aldo Vecchietti, “Representación y Recuperación de Imágenes Médicas en Bases de Datos Objeto-Relacionales”. *Jornadas Argentinas de Informática e Investigaciones Operativas: 36ª JAIIO– Simposio de Informática y Salud: SIS-2007*. Mar del Plata. Agosto de 2007.
5. Borst, W.N. *Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse*. PhD. Thesis. University of Twente. 1997.
6. Sue Pelski., *Oracle Multimedia DICOM Developer's Guide*, 12c Release 1 (12.1) E17698-09. July 2014.
7. Chuck Murray. *Oracle Database. Semantic Technologies Developer's Guide*. 11g Release 2 (11.2) E25609-06. January 2014.
8. Carlos Alvez, Aldo Vecchietti. *Combining Semantic and Content Based Image Retrieval in ORDBMS*. KES'2010, *Lecture Notes in Computer Science*, 2010, Volume 6277/2010, 44-53. Editors Rossitza Setchi, Ivan Jordanov, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.